

## ORIGINAL ARTICLE

# 지역사회건강조사를 이용한 대기질과 주관적 스트레스 간의 연관성 분석

황명재<sup>1</sup>, 정해관<sup>1</sup>, 김종현<sup>1</sup>, 구윤서<sup>2</sup>, 윤희영<sup>2</sup><sup>1</sup>성균관대학교 의과대학 사회의학교실; <sup>2</sup>안양대학교 환경공학과

## Ambient air quality and subjective stress level using Community Health Survey data in Korea

Myung-Jae Hwang<sup>1</sup>, Hae-Kwan Cheong<sup>1</sup>, Jong-Hun Kim<sup>1</sup>, Youn Seo Koo<sup>2</sup>, Hui-Young Yun<sup>2</sup><sup>1</sup>Department of Social and Preventive Medicine, Sungkyunkwan University School of Medicine, Suwon, Korea; <sup>2</sup>Department of Environmental and Energy Engineering, Anyang University, Anyang, Korea

**OBJECTIVES:** Air pollution causes various disease in exposed populations, and can lead to premorbid health effects manifested as both physical and psychological functional impairment. The present study investigated the subjective stress level in daily life in relation to the level of air pollution.

**METHODS:** Data from the Community Health Survey (2013), comprising 99,162 men, and 121,273 women residing in 253 health-care administrative districts, were combined with air pollutant concentration modelling data from the Korean Air Quality Forecasting System, and were stratified by subjective stress levels into five strata for multiple logistic regression. Levels of exposure were divided into five quintiles according to the annual concentration of nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), and were analyzed using a single-pollutant model using NO<sub>2</sub> concentration only, and a multi-pollutant model adjusted for the concentration of particulate matter < 10 μm in diameter.

**RESULTS:** Analysis of men and women in various age groups showed the highest odds ratio (OR) for subjective stress level at the highest NO<sub>2</sub> concentration quintile in men and women aged 30–64 years (men: 2.91; 95% confidence interval [CI], 2.12 to 4.01; women: 1.82; 95% CI, 1.32 to 2.51). As the NO<sub>2</sub> concentration quintile increased, the OR increased. Men showed higher ORs than women in all strata.

**CONCLUSIONS:** In the present study, annual NO<sub>2</sub> concentrations were found to be associated with subjective stress levels. This association was especially clear among socioeconomically active men and women aged 30–64 years.

**KEY WORDS:** Air pollution, Air quality, Stress, Quality of life, Community Health Survey, Korea

### Correspondence: Myung-Jae Hwang

Department of Social and Preventive Medicine, Sungkyunkwan University School of Medicine, 2066 Seobu-ro, Jangan-gu, Suwon 16419, Korea

E-mail: mj6663@naver.com

Received: Feb 28, 2018 / Accepted: Jun 28, 2018 / Published: Jun 28, 2018

This article is available from: <http://e-epih.org/>

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© 2018, Korean Society of Epidemiology

## 서론

세계적으로 급속한 산업화와 도시화로 인한 대기오염이 심해지고 있으며 이로 인한 건강피해도 증가하고 있다. 건강피해를 초래하는 대기오염의 주원인은 에너지산업, 자동차 등으로 대표되는 화석연료의 연소에서 기인한 것으로 대표적인 대기오염물질로 미세먼지(particulate matter, PM), 이산화질소(nitrogen dioxide, NO<sub>2</sub>), 일산화탄소(carbon monoxide, CO), 오존(ozone, O<sub>3</sub>) 등이 있다. 인체의 호흡기를 통해 흡입된 대기오염 물질은 폐 세

포의 산화손상을 일으켜 폐질환, 기관지염 등을 유발하고 장기노출로 인한 지속적인 손상은 폐암을 유발한다. 흡입된 입자는 혈류를 타고 전신 염증반응을 일으켜 혈관과 혈액 응고 작용에도 영향을 주게 되어 자율신경계에 급성 영향을 미칠 수 있다[1]. 대기오염 물질은 당뇨와 고혈압과 같은 대사질환이나 심혈관질환을 악화시킬 뿐 아니라 최근에는 우울증, 자폐 스펙트럼 장애, 알츠하이머 병 및 파킨슨병과 같은 신경퇴행성질환에도 영향을 미친다고 보고되고 있다[2-5]. 2012년, 세계보건기구(World Health Organization, WHO)는 세계적으로 대기오염을 포함한 공기오염으로 인한 사망자 수가 연간 약 7백 만 명에 이를 것으로 추산하였는데, 이는 전체 사망 인구의 약 12.5%에 해당된다[6]. 대기오염은 공중보건의 주요 위협요인 중 하나로 부각되고 있으며 개발도상국뿐만 아니라 선진국에서도 건강피해로 인한 지속적인 보건학적 문제를 야기하며 관심이 커지고 있다. 국내외에서 대기오염 노출로 인한 사망 및 질병 발생에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다.

그러나 대부분의 연구들은 대기오염 노출로 인한 사망, 질환 발생 및 이환과 같은 지표에 집중되어 있다. 인체는 대기오염에 노출되면 건강관련 질환이 발생하거나 및 이환 수준으로 진행되기 전에도 신체적 및 정신적 기능 감소가 야기될 수 있다. 이러한 영향은 일상생활에서 느끼는 감정상태에 반영될 수 있고, 불쾌감, 스트레스, 성가심, 분노, 나아가 건강관련 삶의 질 수준까지도 영향을 미칠 수 있다. 2000년, SAPALDIA (The Swiss Study on Air Pollution and Lung Diseases in Adults)팀에서 9,651명을 대상으로 PM<sub>10</sub>과 NO<sub>2</sub>농도에 따른 ‘annoyance (성가심)’를 점수화 하여 분석한 결과, 노출 농도가 높아질수록 점수가 높아지는 강한 상관관계를 보였다( $r > 0.85$ )[7]. 이처럼 대기오염 노출은 개인의 주관적 감정상태에 영향을 미칠 수 있다. 역학적으로 대기오염 노출에 따라 불쾌감, 스트레스 등의 주관적 및 객관적인 감정척도 간의 연관성은 집단의 수준에서 지역 내 대기질 등급을 매기는 중요한 지표로 이용될 수 있다. 대기오염으로 인한 질병의 발생률과 사망률뿐만 아니라 주관적 감정상태, 나아가 건강관련 삶의 질 척도는 지역간의 다양하고 복잡한 환경 조건의 지표로 고려되어야 하며, 환경정책의 이행을 평가하는 데 유용한 지표로 활용될 수 있다. 기존 대기오염 건강영향 연구들은 대부분 측정점을 기준으로 하여 대도시지역에 국한된 연구를 수행하였다. 상대적으로 면적이 좁고 월경성 오염물질의 영향이 높은 국내 대기오염의 특성을 감안할 때, 대기오염 연구에 있어서 농촌지역을 포함한 전국적인 차원의 연구가 필요하다. 특히 노령인구의 비율이 높은 농촌지역은 대기오염의 피해가 상대적으로 클 수 있는 점을 감안하여야 한다.

지역사회건강조사는 253개 보건행정단위를 기준으로 매년 시행되는 대표성이 뛰어난 건강행태조사로서 지역보건의료계획을 수립하는 데 유용한 자료로 활용되고 있다. 매년 높은 수준의 조사 질 관리와 체계화된 조사 방법으로 시행되고 있고, 객관성 높

은 자료로 이용된다[8]. 그러나 국내 기존 측정자료는 행정지역을 기준으로 볼 때 대도시 등 일부지역에 국한되어 있으므로 전국적인 수준에서 대기오염 자료와 건강자료를 연계하여 분석하는데 어려움이 있었다. 이를 극복하기 위해 측정점이 없는 지역을 포함한 전국의 대기오염도를 동일한 방법으로 평가한 자료가 필요하다. 본 연구에서는 전국을 대상으로 동일한 지역별로 산출한 대기오염 노출 자료를 이용하여 연평균 대기오염 농도에 따른 주관적 스트레스 수준의 영향을 평가하고자 하였다.

## 연구방법

### Data source

본 연구에서는 대기오염 노출로 인한 스트레스의 영향을 분석하기 위해 매년 전국에서 253개 보건행정단위를 기준으로 시행되는 지역사회건강조사 통계자료를 이용하였다. 지역사회건강조사는 2008년 이후 1차(표본지점), 2차(표본가구)를 통해 확률표본 추출된 만 19세 이상의 모든 주민을 대상으로 전국 시·군·구에서 시행되는 통계조사이다. 지역사회건강조사는 크게 개인 설문조사와 가구 설문조사로 구성되어 있고, 건강행태, 이환, 의료이용, 교육 및 경제활동 등 지역간 건강수준을 평가하고 객관성 높은 지역보건통계를 산출하여 지역보건의료의 개선과 발전을 위해 좋은 자료로 사용되고 있다[9].

현재 국내에는 지역사회건강조사의 보건소 관할 시·군·구 단위의 대기오염 노출 데이터가 없다. 이러한 한계점은 보완하기 위해 본 연구의 대기오염 노출 데이터로는 국내의 기존 대기환경자료 대신 시·군·구 단위로 산출된 3차원 대기화학수송모델을 이용하여 산정된 Korean Air Quality Forecasting System (KAQFS) 자료를 이용하였다. 화학수송모델은 크게 기상모델링, 배출량모델링, 화학수송모델링으로 구성되어 있다. 기상모델링은 WRF (Weather Research Forecasting) 모델을 이용하여 시간별, 격자별로 바람장, 온·습도장을 비롯한 3차원자료를 생성하였고, 생성된 기상자료를 배출량모델링과 화학수송모델링의 입력자료로 이용하였다. 배출량 모델링은 미국 환경보호청(US EPA)에서 제공하는 SMOKE (Sparse Matrix Operator Kernel Emissions)를 이용하여 기상자료와 각 배출원의 특성을 고려하여 대기질 모델링에 적용할 수 있는 화학종별, 시간별, 공간별 배출량을 생성하였다. 화학수송모델링에는 CMAQ (Community Multiscale Air Quality) 모델을 이용하였다. 기상자료의 기상인자와 배출량 모델에서 산정된 화학종별, 시간별, 공간별 배출량을 활용하여 3차원 이류확산방정식을 수치적으로 풀어 3차원 공간상에서 매 시간별 오염물질농도를 계산하였다. 수치예보 모델에서 정확도를 개선하기 위해서는 초기장을 설정하는 것이 매우 중요한데, 기존 화학수송모델은 국내 측정자료를 활용하지 않고 이전 시간의 모델 산출 결과를 그대로 초

기장으로 사용하고 있다. 따라서, 자료동화방법을 적용하여 모델링 동격자상에 불규칙적으로 분포한 관측치들이 존재하는 경우에 하나의 모델 값 격자점을 둘러싼 영향 반경 내 존재하는 측정치를 이용하여 모델 값(초기장)을 보정하였다. 최종적으로 화학수송모델에 자료동화방법을 적용하여 대기오염 물질농도를 계산하였다. 산출된 결과는 수도권의 경우 3 km × 3 km, 그외 지역은 9 km × 9 km 격자 단위로 생성하였다. 이렇게 생성된 결과는 253개 시군구의 경계영역에 따라 각 행정구역별 가중평균치를 산출하여 적용하였다. 우리는 253개 보건행정단위로 산출된 모델링자료를 이용하여 각 지역의 연평균 NO<sub>2</sub>와 PM<sub>10</sub>농도를 산정하여 대상자의 거주지 주소와 매칭하여 데이터를 결합하였다. 현재 가용한 2013년 모델링자료를 이용하였다.

### Measurement of variables

본 연구에서는 종속 변수로 '정신건강' 영역에 해당하는 주관적 스트레스 수준 문항을 이용하였다. 주관적 스트레스 수준은 '대단히 많이 느낀다', '많이 느끼는 편이다', '조금 느끼는 편이다', '거의 느끼지 않는다'로 4단계 문항으로 되어 있다. 전체 대상자를 남성, 여성으로 나누어 30세 미만, 30세 이상 65세 미만, 65세 이상으로 층화하였고, 연간 가구 총소득, 최종학력, 혼인상태, 흡연상태, 경제활동 유무, 하루 평균 수면시간, 주관적 건강수준을 보정하였다. 가구 조사 문항 중 연간 가구 총소득은 임금, 부동산소득, 연금이자, 정부 보조금 등 모든 수입을 합쳐 최근 1년 동안 가구의 총 소득(단위: 만원)을 산출한 값으로 자연로그를 취하여 보정변수로 하였다. 최종학력은 '대학교 이상', '고등학교 졸업', '무학, 서당 및 한학, 초등학교, 중학교 졸업'로 분류하였다. 혼인상태는 '미혼', '배우자가 있으며 함께 살고 있음', '배우자가 있으나 함께 살고 있지 않음, 배우자 사망으로 인한 배우자가 없음, 이혼으로 배우자가 없음'로 분류하였다. 흡연상태는 '피운 적 없음', '과거에는 피웠으나 현재 피우지 않음', '가끔 피움, 매일 피움'로 분류하였다. 현재 경제활동 유무는 '예', '아니오'로 분류하였고, 하루 평균 수면시간은 '6시간 미만', '6시간 이상 8시간 미만', '8시간 이상'로 분류하였다. 주관적 건강수준은 응답보기에 따라 '매우 좋음', ' 좋음', '보통', '나쁨', '매우 나쁨'로 분류하였다. 각 변수에 따라 비례당, 응답거부에 응답한 대상자를 제외한 결과, 남성 99,162명, 여성 121,273명으로 총 220,435명을 대상으로 분석하였다.

우리는 조사대상자의 현재 거주지 주소의 253개 보건행정 단위 변수를 이용하여 연평균 NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, 연평균기온, 연평균습도를 매칭하여 결합하였다. 전체 대상자를 남성, 여성으로 분류하여 각 그룹에서 NO<sub>2</sub>농도와 PM<sub>10</sub>농도를 20 percentile에 따라 5분위로 나누었다. 남성과 여성 전체 대상자의 각 그룹에서 NO<sub>2</sub>과 PM<sub>10</sub>농도를 5분위로 나누어 노출수준을 독립변수로 고려한 single-pollutant model과 독립변수로 NO<sub>2</sub>노출에 따른 PM<sub>10</sub>농도를 보정한

multi-pollutant model로 나누어 분석하였다. 각 model에서 연평균 기온, 연평균 강수량, 연간 가구 총소득, 연령, 혼인상태, 흡연상태, 최종학력, 현재 경제활동 여부, 주관적 건강수준, 하루 평균 수면시간을 보정하여 분석을 시행하였다. 남, 여 그룹에서 인구사회학적 연령에 따라 30세 미만, 30세 이상 65세 미만, 65세 이상으로 분류하여 대기오염 노출로 인한 주관적 스트레스 수준을 분석하였다.

### Statistical analysis

주관적 스트레스 상태는 정도에 따라 '대단히 많이 느낀다', '많이 느끼는 편이다', '조금 느끼는 편이다', '거의 느끼지 않는다' 4가

**Table 1.** Characteristics of the study subjects

Characteristics	Men (n=99,162)	Women (n=121,273)
NO <sub>2</sub> (ppb)	19.0±9.4	19.0±9.4
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	43.2±6.4	43.2±6.4
Temperature (°C)	12.3±1.6	12.3±1.6
Humidity (%)	72.3±5.0	72.2±5.0
Income (10 <sup>4</sup> KRW)	3,769.4±2,871.6	3,505.1±2,897.0
Age (yr)		
<30	11,013 (11.1)	12,880 (10.6)
30-64	63,746 (64.3)	73,690 (60.8)
≥65	24,403 (24.6)	34,703 (28.6)
Marriage		
Not married	17,848 (18.0)	14,555 (12.0)
Married	73,176 (73.8)	77,598 (64.0)
Divorced or death of a spouse	8,138 (8.2)	29,120 (24.0)
Cigarette smoking		
Never	24,224 (24.4)	114,681 (94.6)
Past	33,971 (34.3)	2,905 (2.4)
Current	40,967 (41.3)	3,687 (3.0)
Educational level		
College or above	39,157 (39.5)	34,795 (28.7)
High school	31,373 (31.6)	31,819 (26.2)
Middle school or below	28,632 (28.9)	54,659 (45.1)
Economic activity		
Yes	76,407 (77.1)	62,691 (51.7)
No	22,755 (22.9)	58,582 (48.3)
Subjective health status		
Very good	7,677 (7.7)	5,202 (4.3)
Good	36,430 (36.7)	35,855 (29.6)
Usual	38,495 (38.8)	49,787 (41.1)
Bad	12,817 (12.9)	23,298 (19.2)
Very bad	3,743 (3.9)	7,131 (5.8)
Sleeping hours (hr/d)		
<6	21,454 (21.6)	27,349 (22.6)
6-8	62,585 (63.1)	71,447 (58.9)
≥8	15,123 (15.3)	22,477 (18.5)

Values are presented as mean±standard deviation or number (%). NO<sub>2</sub>, nitrogen dioxide; ppb, parts per billion; PM<sub>10</sub>, particulate matter <10 µm in diameter; KRW, Korean won.

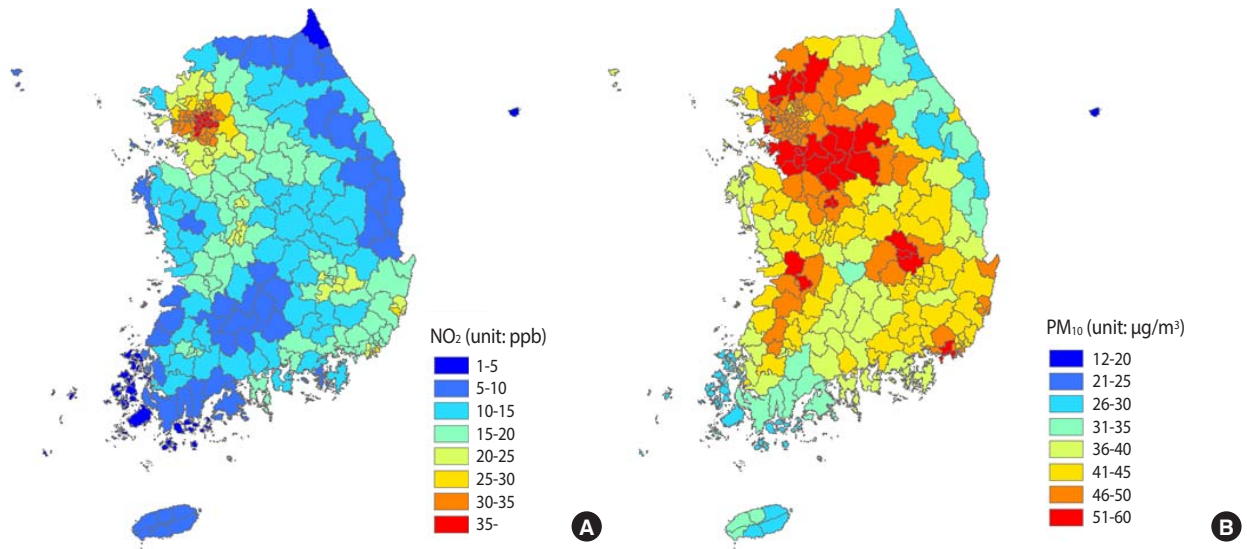
지 단계로 분류되어 있고, 이를 범주화하였다. 대기오염 노출 농도가 가장 낮은 그룹을 기준으로 각 노출 분위에서 ‘거의 느끼지 않는다’에 응답한 대상자를 기준으로 오즈비(odds ratio, OR)를 산출하였다. 종속변수가3개 이상인 경우이므로 다항로지스틱회귀분석(multinomial logistic regression)을 시행하였다. 본 연구에서 통계분석은 SAS 9.4와 R version 3.3.2를 이용하였고, 95% 신뢰구간을 제시하였다. 유의수준은 0.05로 설정하여 통계검정하였다.

**IRB**

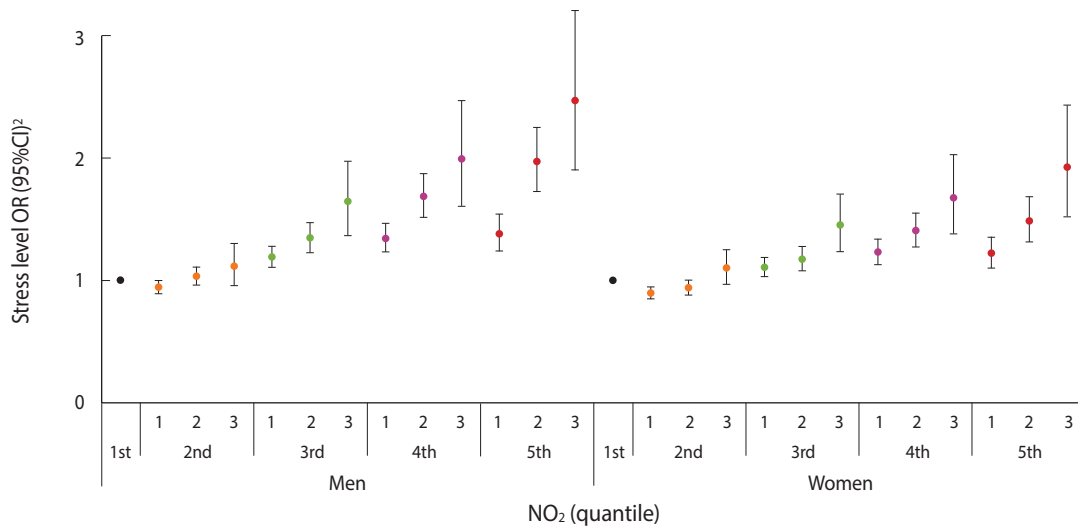
본 연구는 성균관대학교 연구윤리위원회의 (IRB #2018-01-011) 심사 승인을 받았다.

**연구결과**

2013년 지역사회 건강조사를 이용하여 대기오염 노출로 인한



**Figure 1.** Concentration of annual average (A) nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) and (B) particulate matter <10 μm in diameter (PM<sub>10</sub>) in 2013 by 253 administrative regions. Average annual concentration of the NO<sub>2</sub> was estimated by Community Multiscale Air Quality model and synchronized by air post measurement data.



**Figure 2.** Subjective stress level in association with NO<sub>2</sub> concentration by 20 percentiles in multi-pollutant model by gender. OR, odds ratio; CI, confidence interval; PM<sub>10</sub>, particulate matter <10 μm in diameter. <sup>1</sup>ORs were estimated by multinomial logistic regression adjusted for temperature, humidity, income, age, marriage, cigarette smoking, educational level, economic activity, subjective health status, sleeping hours and annual average concentration of PM<sub>10</sub>. <sup>2</sup>Level of subjective stress: 1, ‘I feel stress little’; 2, ‘I feel stress much’; 3, ‘I feel stress very much’.

**Table 2.** Subjective stress level in association with 5 quintiles for NO<sub>2</sub> stratified by gender and age in single, and multi-pollutant model<sup>1</sup>

Age (yr)	NO <sub>2</sub> (percentile) <sup>2</sup>	Stress level <sup>3</sup>	Single-pollutant		Multi-pollutant <sup>4</sup>			
			Men	Women	Men	Women		
< 30	1st		1.00 (reference)	1.00 (reference)	1.00 (reference)	1.00 (reference)		
		2nd	1	1.01 (0.82, 1.24)	0.95 (0.76, 1.19)	1.09 (0.87, 1.36)	0.99 (0.77, 1.28)	
			2	1.03 (0.80, 1.34)	1.04 (0.80, 1.35)	1.10 (0.83, 1.46)	1.07 (0.80, 1.42)	
	3rd	3	1.42 (0.83, 2.45)	1.39 (0.87, 2.22)	1.35 (0.75, 2.42)	1.60 (0.96, 2.68)		
		1	1	1.11 (0.90, 1.37)	0.91 (0.72, 1.14)	1.27 (0.98, 1.64)	0.97 (0.73, 1.30)	
			2	1.18 (0.92, 1.52)	0.96 (0.74, 1.24)	1.31 (0.96, 1.80)	1.00 (0.72, 1.39)	
	4th	3	1.50 (0.89, 2.53)	1.21 (0.77, 1.91)	1.37 (0.72, 2.59)	1.53 (0.86, 2.71)		
		1	1	1.21 (0.97, 1.52)	1.00 (0.78, 1.28)	1.43 (1.07, 1.91)	1.09 (0.78, 1.51)	
			2	1.36 (1.04, 1.79)	1.25 (0.94, 1.65)	1.55 (1.09, 2.21)	1.31 (0.90, 1.90)	
	5th	3	2.18 (1.27, 3.73)	1.37 (0.84, 2.23)	1.96 (0.97, 3.93)	1.81 (0.95, 3.44)		
		1	1	1.12 (0.83, 1.50)	0.90 (0.65, 1.24)	1.32 (0.93, 1.88)	0.98 (0.66, 1.46)	
			2	1.50 (1.05, 2.15)	1.19 (0.83, 1.71)	1.72 (1.12, 2.64)	1.26 (0.80, 1.96)	
	30-64	1st		1.00 (reference)	1.00 (reference)	1.00 (reference)	1.00 (reference)	
			2nd	1	0.95 (0.89, 1.02)	0.91 (0.85, 0.97)	1.02 (0.94, 1.11)	0.94 (0.87, 1.01)
				2	1.04 (0.96, 1.14)	0.96 (0.88, 1.04)	1.09 (0.99, 1.20)	0.98 (0.90, 1.08)
3rd		3	1.19 (1.00, 1.41)	1.04 (0.88, 1.23)	1.26 (1.04, 1.52)	1.06 (0.87, 1.27)		
		1	1	1.16 (1.07, 1.25)	1.08 (1.00, 1.16)	1.30 (1.17, 1.43)	1.13 (1.03, 1.25)	
			2	1.36 (1.24, 1.49)	1.15 (1.05, 1.25)	1.45 (1.29, 1.64)	1.20 (1.07, 1.35)	
4th		3	1.77 (1.49, 2.11)	1.35 (1.14, 1.60)	1.94 (1.55, 2.44)	1.37 (1.10, 1.72)		
		1	1	1.30 (1.19, 1.42)	1.18 (1.08, 1.28)	1.49 (1.32, 1.68)	1.25 (1.12, 1.40)	
			2	1.75 (1.58, 1.95)	1.33 (1.20, 1.47)	1.89 (1.65, 2.18)	1.40 (1.22, 1.61)	
5th		3	2.12 (1.75, 2.58)	1.56 (1.28, 1.89)	2.37 (1.83, 3.08)	1.59 (1.22, 2.07)		
		1	1	1.32 (1.16, 1.50)	1.18 (1.05, 1.33)	1.51 (1.30, 1.75)	1.26 (1.09, 1.45)	
			2	2.01 (1.74, 2.33)	1.38 (1.21, 1.59)	2.17 (1.83, 2.58)	1.47 (1.24, 1.73)	
≥65		1st		1.00 (reference)	1.00 (reference)	1.00 (reference)	1.00 (reference)	
			2nd	1	0.81 (0.75, 0.87)	0.79 (0.74, 0.84)	0.84 (0.77, 0.92)	0.84 (0.78, 0.91)
				2	0.98 (0.88, 1.08)	0.81 (0.75, 0.88)	1.02 (0.90, 1.15)	0.90 (0.82, 0.99)
	3rd	3	0.92 (0.71, 1.19)	1.01 (0.86, 1.19)	0.92 (0.68, 1.25)	1.10 (0.91, 1.34)		
		1	1	0.99 (0.90, 1.09)	0.95 (0.88, 1.04)	1.04 (0.92, 1.17)	1.06 (0.95, 1.19)	
			2	1.13 (0.99, 1.29)	1.00 (0.90, 1.10)	1.20 (1.02, 1.43)	1.18 (1.03, 1.35)	
	4th	3	1.17 (0.85, 1.61)	1.30 (1.06, 1.58)	1.18 (0.79, 1.77)	1.48 (1.14, 1.92)		
		1	1	1.08 (0.96, 1.22)	1.05 (0.95, 1.18)	1.15 (0.99, 1.34)	1.20 (1.05, 1.38)	
			2	1.16 (0.98, 1.37)	1.12 (0.98, 1.28)	1.26 (1.02, 1.56)	1.37 (1.16, 1.62)	
	5th	3	1.12 (0.74, 1.67)	1.33 (1.02, 1.73)	1.13 (0.68, 1.88)	1.56 (1.12, 2.18)		
		1	1	1.26 (1.06, 1.50)	1.08 (0.92, 1.26)	1.34 (1.10, 1.62)	1.23 (1.03, 1.47)	
			2	1.40 (1.09, 1.78)	1.33 (1.10, 1.60)	1.50 (1.15, 1.98)	1.62 (1.31, 2.01)	
			3	1.54 (0.88, 2.68)	1.64 (1.14, 2.36)	1.55 (0.83, 2.91)	1.93 (1.27, 2.92)	

NO<sub>2</sub>, nitrogen dioxide; PM<sub>10</sub>, particulate matter <10 μm in diameter; ppb, parts per billion.

<sup>1</sup>Adjusted for temperature, humidity, income, age, marriage, cigarette smoking, educational level, economic activity, subjective health status, sleeping hours.

<sup>2</sup>Concentration of NO<sub>2</sub> (unit: ppb) in men: 1st (0–20th percentile): <10.46, 2nd (20–40th percentile): 10.46–15.78, 3rd (40–60th percentile): 15.78–19.76, 4th (60–80th percentile): 19.76–29.87, 5th (80–100th percentile): >29.87; Concentration of NO<sub>2</sub> in women: 1st (0–20th percentile): <10.25, 2nd (20–40th percentile): 10.25–15.06, 3rd (40–60th percentile): 15.06–19.76, 4th (60–80th percentile): 19.76–30.08, 5th (80–100th percentile): >30.08.

<sup>3</sup>Level of subjective stress: 1, 'I feel stress little'; 2, 'I feel stress much'; 3, 'I feel stress very much'.

<sup>4</sup>Adjusted for annual average concentration of PM<sub>10</sub>.

**Table 3.** Subjective stress level in association with five quintiles for PM<sub>10</sub> stratified by gender, age in a single-pollutant model<sup>1</sup>

Age (yr)	PM <sub>10</sub> (percentile) <sup>2</sup>	Stress level <sup>3</sup>	Men	Women		
< 30	1st		1.00 (reference)	1.00 (reference)		
		2nd	1	0.92 (0.76, 1.12)	0.96 (0.78, 1.19)	
		3	0.83 (0.65, 1.06)	0.98 (0.77, 1.25)		
	3rd	1	1.11 (0.67, 1.84)	0.95 (0.62, 1.46)		
		2	0.94 (0.77, 1.15)	0.86 (0.69, 1.07)		
		3	0.86 (0.67, 1.10)	0.95 (0.74, 1.22)		
	4th	1	1.40 (0.85, 2.29)	1.23 (0.81, 1.87)		
		2	0.85 (0.69, 1.05)	1.05 (0.83, 1.33)		
		3	0.82 (0.63, 1.06)	1.08 (0.82, 1.40)		
	5th	1	1.03 (0.61, 1.73)	1.20 (0.77, 1.87)		
		2	0.97 (0.80, 1.19)	0.94 (0.76, 1.16)		
		3	0.95 (0.75, 1.21)	1.05 (0.82, 1.34)		
	30-64	1st		1.00 (reference)	1.00 (reference)	
			2nd	1	1.02 (0.95, 1.09)	0.97 (0.91, 1.04)
			3	1.04 (0.95, 1.13)	1.01 (0.93, 1.09)	
3rd		1	1.14 (0.96, 1.35)	1.05 (0.89, 1.23)		
		2	0.96 (0.89, 1.04)	1.00 (0.93, 1.08)		
		3	1.01 (0.92, 1.10)	1.03 (0.94, 1.12)		
4th		1	1.41 (1.19, 1.67)	1.21 (1.02, 1.43)		
		2	1.00 (0.92, 1.08)	0.98 (0.90, 1.06)		
		3	1.07 (0.97, 1.18)	0.99 (0.90, 1.08)		
5th		1	1.34 (1.11, 1.61)	1.03 (0.86, 1.24)		
		2	1.12 (1.04, 1.22)	1.05 (0.98, 1.13)		
		3	1.32 (1.21, 1.45)	1.13 (1.03, 1.23)		
≥65		1st		1.00 (reference)	1.00 (reference)	
			2nd	1	0.87 (0.81, 0.94)	0.87 (0.81, 0.93)
			3	0.86 (0.77, 0.96)	0.80 (0.73, 0.87)	
	3rd	1	0.78 (0.59, 1.02)	0.83 (0.70, 0.99)		
		2	0.87 (0.79, 0.96)	0.82 (0.75, 0.89)		
		3	0.89 (0.78, 1.02)	0.84 (0.76, 0.93)		
	4th	1	0.98 (0.73, 1.33)	1.20 (1.00, 1.44)		
		2	0.81 (0.73, 0.90)	0.77 (0.70, 0.85)		
		3	0.96 (0.82, 1.12)	0.75 (0.67, 0.85)		
	5th	1	0.64 (0.43, 0.94)	0.90 (0.71, 1.14)		
		2	0.98 (0.89, 1.08)	0.99 (0.91, 1.09)		
		3	1.00 (0.87, 1.15)	0.94 (0.84, 1.05)		
			3	1.05 (0.76, 1.45)	0.99 (0.80, 1.24)	

Values are presented as odds ratio (95% confidence interval).

PM<sub>10</sub>, particulate matter <10 µm in diameter.

<sup>1</sup>Adjusted for temperature, humidity, income, age, marriage, cigarette smoking, educational level, economic activity, subjective health status, sleeping hours.

<sup>2</sup>Concentration of PM<sub>10</sub> (unit: mg/m<sup>3</sup>) in men: 1st (0-20th percentile): <38.36, 2nd (20-40th percentile): 38.36-42.47, 3rd (40-60th percentile): 42.47-45.59, 4th (60-80th percentile): 45.59-48.45, 5th (80-100th percentile): >48.45; Concentration of PM<sub>10</sub> in women: 1st (0-20th percentile): <38.36, 2nd (20-40th percentile): 38.36-42.44, 3rd (40-60th percentile): 42.44-45.47, 4th (60-80th percentile): 45.47-48.45, 5th (80-100th percentile): >48.45.

<sup>3</sup>Level of subjective stress: 1, 'I feel stress little'; 2, 'I feel stress much'; 3, 'I feel stress very much'.

주관적 스트레스 정도를 보기 위해 남성 99,162명, 여성 121,273명을 대상으로 분석하였다. 남성과 여성 조사대상자 모두 30세 이상 65세 미만이 가장 많았고, '현재 배우자가 있으며, 함께 살고 있음'에 해당하는 대상자가 가장 많았다. 흡연상태에서 남성은 '가끔 피움, 매일 피움'에 해당하는 현재 흡연자가 가장 많았고, 여성은 '평생 피워본 적 없음'이 가장 많았다. 최종학력은 남성에서 '대학교 이상'이 가장 많았고, 여성에서 '무학, 서당 및 한학, 초등학교, 중학교 졸업'이 가장 많았다. 현재 경제활동 여부는 남성과 여성 모두 '현재 경제활동하고 있음'이 많았다. 주관적 건강수준은 '보통'에 응답한 대상자가 가장 많았다. 하루 평균 수면시간은 '6시간 이상 8시간 미만'이 가장 많았다(Table 1). 현재 거주지를 시·군·구로 분류하여 연평균 대기오염 노출 데이터를 결합하여 각각의 그룹에서 5분위로 나눈 결과, 남성에서 10.46 ppb 미만, 10.46-15.78 ppb, 15.78-19.76 ppb, 19.76-29.87 ppb, 29.87 ppb 이상으로 범주화하였고, 여성에서 10.25 ppb 미만, 10.25-15.06 ppb, 15.06-19.76 ppb, 19.76-30.08 ppb, 30.08 ppb 이상으로 범주화하였다. 2013년 연평균 NO<sub>2</sub>와 PM<sub>10</sub>의 농도를 시·군·구 단위로 모델링 한 결과, 연평균 NO<sub>2</sub>농도가 높은 상위 10%에 해당하는 보건행정 지역은 대부분 서울특별시, 경기도, 인천광역시에 해당하는 수도권 지역이었다(Figure 1).

남성과 여성에서 전체 연령을 대상으로 NO<sub>2</sub>노출 분위에 따라 PM<sub>10</sub>을 보정한 multi-pollutant model 분석 결과, 가장 높은 5분위에서 남성의 OR은 '거의 느끼지 않는다'를 기준으로 '조금 느끼는 편이다'에 응답한 대상자의 OR은 1.38 (95% CI: 1.24-1.54), '많이 느끼는 편이다'는 1.97 (95% CI: 1.73-2.25), '대단히 많이 느끼는 편이다'는 2.47 (95% CI: 1.90-3.21)이었다. 여성에서 '거의 느끼지 않는다'를 기준으로 '조금 느끼는 편이다'에 응답한 대상자의 OR은 1.22 (95% CI: 1.10-1.35), '많이 느끼는 편이다'는 1.49 (95% CI: 1.32-1.68), '대단히 많이 느끼는 편이다'는 1.92 (95% CI: 1.52-2.43)로 남성에서 OR이 더 높았고, 노출 분위가 증가할수록 OR이 증가하였다(Figure 2).

남성과 여성 대상자를 30세 미만, 30세 이상 65세 미만, 65세 이상으로 나누어 single-pollutant model, multi-pollutant model로 분석하였다. Single-pollutant model 분석 결과, 30세 미만에서 남성과 여성 모두 농도 분위가 증가할수록 스트레스 수준의 위험이 증가하였고, 가장 높은 5분위에서 '거의 느끼지 않는다'를 기준으로 '많이 느끼는 편이다'에 응답한 남성의 OR은 2.26 (95% CI: 1.13-4.51), 여성의 OR은 1.37 (95% CI: 0.74-2.53)로 가장 높았다. 30세 이상 65세 미만의 남성과 여성 모두 농도 분위 수가 증가할수록 OR이 증가하였고, 가장 높은 5분위에서 '거의 느끼지 않는다'를 기준으로 '많이 느끼는 편이다'에 응답한 남성의 OR은 2.61 (95% CI: 2.00-3.41), 여성의 OR은 1.78 (95% CI: 1.37-2.31)로 30세 미만의 연령보다 OR이 더 높았다. 65세 이상에서 남성과 여성 모두

두 가장 높은 5분위에서 OR이 가장 높았고, ‘거의 느끼지 않는다’를 기준으로 ‘많이 느끼는 편이다’에 응답한 남성의 OR은 1.54 (95% CI: 0.88-2.68), 여성의 OR은 1.64 (95% CI: 1.14-2.36)이었다. 남성과 여성 모두 30세 이상 65세 미만의 연령에서 NO<sub>2</sub>농도 분위가 가장 높은 그룹에서 OR이 가장 높았다(Table 2).

각 NO<sub>2</sub> 농도 5분위그룹에서 PM<sub>10</sub>농도를 보정한 multi-pollutant model 분석 결과, 30세 미만에서 남성과 여성 모두 percentile이 증가할수록 스트레스 수준의 위험이 증가하는 경향을 보였지만 여성에서는 통계적으로 유의하지 않았다. 남성에서는 가장 높은 5분위에서 OR은 2.02 (95% CI: 0.88-4.62)였고, 여성의 OR은 1.84 (95% CI: 0.86-3.94)였다. 30세 이상 65세 미만의 남성과 여성 모두 농도 분위가 증가할수록 OR이 증가하였다. 특히 남성에서 분위에 따른 OR이 뚜렷이 증가하였으며 모두 통계적으로 유의한 결과를 보였다. 가장 높은 5분위에서 남성의 OR은 2.91 (95% CI: 2.12-4.01), 여성의 OR은 1.82 (95% CI: 1.32-2.51)로 single-pollutant model보다 더 높은 위험 수준을 보였다. 65세 이상에서 남성과 여성 모두 가장 높은 5분위에서 높았고, 남성의 OR은 1.55 (95% CI: 0.83-2.91), 여성의 OR은 1.93 (95% CI: 1.27-2.92)이었다. PM<sub>10</sub>을 보정한 multi-pollutant model에서 NO<sub>2</sub>농도 분위에 따른 스트레스 수준의 위험이 더 컸고, 특히 30세 이상 65세 미만의 남성에서 OR이 가장 높았으며 통계적으로 유의한 결과를 보였다(Table 2).

PM<sub>10</sub> 농도를 20 percentile에 따라 5분위로 나누어 독립변수로 두고 분석한 single-pollutant model에서는 전반적으로 유의한 결과를 보이지 않았다. 30세 이상 65세 미만에서 percentile이 증가할수록 스트레스 수준의 위험이 증가하는 경향을 보였지만, 가장 높은 5분위의 남성에서만 통계적으로 유의한 결과를 보였다(Table 3). 분석 결과, ‘거의 느끼지 않는다’를 기준으로 ‘많이 느끼는 편이다’에 응답한 남성의 OR은 1.57 (95% CI: 1.33-1.87), 여성의 OR은 1.31 (95% CI: 1.11-1.54)였다.

## 고 찰

2013년 지역사회건강조사 자료를 이용하여 조사 대상자의 253개 보건행정 단위의 현재 거주지 주소를 바탕으로 대기오염 노출 자료를 매칭하여 주관적 스트레스 정도를 분석하였다. 분석 결과, 사회경제적 활동이 활발한 남성과 여성 30세 이상 65세 미만의 연령에서 대기오염 노출 농도에 따른 분위가 증가할수록 스트레스 수준의 위험이 증가하였다.

지역사회 건강조사는 매년 고혈압, 당뇨병, 이상지질혈증, 뇌졸중, 심근경색증, 관절염 등 급성 및 만성질환에 대한 의사진단 여부를 조사한다. 질환의 유무는 일상 생활에서 느끼는 스트레스 수준과 삶의 질에도 큰 영향을 미친다[10]. 특히 관절염과 같은 활동에 제한이 있는 질환에 따라 느끼는 개인의 건강수준은 매우

낮을 것이다. 2013년 조사 결과, 고혈압 의사진단을 받은 대상자는 총 55,632명, 당뇨병은 20,922명, 관절염은 31,675명이었다. 이를 성별, 연령별로 나누어 분석하였을 때, 층화 변수에 따른 N수가 매우 적어 통계적으로 유의한 결과를 내기 어렵다. 따라서, 질병 이환과 연관된 복합적인 지표로 주관적 건강수준을 ‘매우 좋음’, ‘ 좋음’, ‘보통’, ‘나쁨’, ‘매우 나쁨’로 응답한 변수를 이용하여 보정하였다.

현재까지 공중보건학적 관점에서 대기오염 물질에 대한 노출과 건강영향 연구는 주로 단일 대기오염물질에 중점을 두었다. 그러나 실제적으로 오염물질에 대한 노출은 다양한 배출원과 대기오염 물질에 노출되기 때문에 multi-pollutant model 접근법으로 나아가야 할 것을 권장하고 있다[11]. 따라서 본 연구에서는 대기오염 물질 중 인체에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 NO<sub>2</sub> 노출에 따른 single-pollutant model과 PM<sub>10</sub>을 보정한 multi-pollutant model 모두 분석하여 결과를 비교하였다. 남성과 여성 전체를 NO<sub>2</sub>농도에 따라 5분위로 나누어 분석하였을 때, 분위수가 증가할수록 주관적 스트레스 상태의 OR이 증가하였고, 특히 여성보다 남성의 OR이 더 높았다. 이러한 정신적 스트레스 정도는 평소 개인이 느끼는 건강관련 삶의 질과 연관이 있는데, 2005년 일본에서 연구한 바에 따르면, 교통량이 많은 도로 근처에 거주하는 집단에서 건강관련 삶의 질이 낮았다고 보고하였다[12]. 이는 많은 교통량으로 인해 고농도의 NO<sub>2</sub>에 노출되면 알레르기성비염[13], 천식[14] 및 호흡기증상의 악화[15] 등 단기노출로 인한 인체에 급성영향으로, 복합적으로 느끼게 되는 불쾌감 등의 주관적 건강상태와 건강 관련 삶의 질에도 영향을 미칠 수 있다는 것을 시사한다. 실제로 인체에 흡입된 대기오염물질은 직접적으로 지질과 단백질의 산화촉진제로 또는 자유라디칼(free radical)로 작용하여 산화 스트레스를 촉진시키고 염증반응을 유도하게 된다[16]. 인체 내 자유라디칼 농도가 증가하면 산화 손상 스트레스로 인해 죽상 동맥 경화증, 심장 마비, 만성 염증성 질환과 파킨슨병, 알츠하이머와 같은 중추신경계 장애를 유발할 수 있다[17]. 이러한 신체 내 손상은 개인이 일상생활에서 느끼는 신체기능의 저하로 인해 정신적으로 영향을 미칠 수 있다.

남성과 여성에서 사회 인구학적 연령에 따른 결과를 보기 위해 30세 미만, 30세 이상 65세 미만, 65세 이상으로 나누어 분석하였다. 30세 이상 65세 미만의 남성과 여성은 사회 및 경제 활동이 가장 활발하고, 30세 미만의 연령에 비해 상대적으로 신체적 기능의 감퇴가 시작되는 시기이다. 모든 연령군에서 NO<sub>2</sub>농도의 분위수가 증가할수록 스트레스 정도의 OR이 증가하였다. 특히, multi-pollutant model에서 30세 이상 65세 미만의 남성에서 OR이 뚜렷하게 증가하였고, 모두 통계적으로 유의한 결과를 보였다. 이 시기는 활동성이 가장 많고, 사회 및 경제활동이 가장 활발한 시기에 써 일상생활에서 실내외 대기오염에 노출되기 쉽다. 또, 사회 경제적 수준에 따라 상대적으로 다른 연령군에 비해 민감하게 반응하

여 30세 미만 연령군과 65세 이상 연령군에 비해 민감집단이기 때문일 것이라 판단된다. 질병 이환에 따른 복합적인 지표로 주관적 건강상태에 따른 스트레스 정도를 분석한 결과, 건강상태가 나빠질수록 OR이 뚜렷하게 증가하였다. 하루 평균 수면시간에 따른 스트레스 정도를 분석한 결과, 남성과 여성 모두 30세 이상 65세 미만의 연령에서 하루 평균 수면시간이 감소할수록 OR이 뚜렷하게 증가하였다.

본 연구에서는 PM<sub>10</sub>의 영향을 보기 위해 농도에 따라 5분위로 나누어 분석을 시행하였다. Single-pollutant model 결과, 30세 이상 65세 미만의 남성에서 PM<sub>10</sub>의 분위수가 높아질수록 스트레스 정도의 OR이 뚜렷하게 증가하였으나 제4분위와 5분위에서만 통계적으로 유의한 결과를 보였다. 여성에서도 분위수가 높아질수록 OR이 증가하는 경향을 보였으나 가장 높은 5분위에서만 통계적으로 유의한 결과를 보였다(Table 3). 이는 사람에게 PM<sub>10</sub>보다 NO<sub>2</sub>의 영향이 크다는 것을 보여준다. 도로 위 자동차의 배출가스는 국내 대기오염의 주 원인 중 하나이다. 도로의 교통량과 대기오염 물질의 상관성을 조사한 결과, PM<sub>10</sub>보다 NO<sub>2</sub>에서 상관성이 매우 높게 나왔고, 이는 PM<sub>10</sub>농도는 자동차 배출가스의 영향을 직접적으로 반영하지 않는다는 결과를 보여준다[18]. 우리는 일상 생활에서 각종 교통수단을 자주 이용할 뿐만 아니라 수많은 교통량에서 배출되는 가스에 직·간접적으로 노출되고 있다. 따라서, NO<sub>2</sub>노출로 인한 신체적 및 정신적 피해를 감소시키기 위해서 교통수단과 다양한 대기오염 물질의 배출원에 대한 규제가 필요하다는 것을 시사한다.

본 연구는 지역사회 건강조사에서 시행되는 통계자료가 253개 보건행정 지역단위로 산출된다는 장점을 이용하여 253개 지역의 대기오염 농도자료를 결합하여 분석하였다는 강점이 있다. 그러나 현재 일반 연구자들에게 제공되는 지역사회 건강조사 통계자료는 조사가 시행된 날짜 변수가 제공되지 않기 때문에 우리는 연평균 대기오염농도를 산출하여 상대적으로 long-term exposure에 해당하는 결과값을 얻었다. 대기오염 물질 단기노출은 인체 내 산화 스트레스 손상을 일으키고[19], 고농도에 노출되게 되면 급성 스트레스에 반응 시 분비되는 호르몬인 cortisol, norepinephrine 농도가 증가한다고 보고하였다[20]. 따라서, 지역사회 건강조사 대상자의 조사 시행 날짜에 따른 대기오염 단기노출로 인한 건강영향을 보기 위해서 일별자료를 결합하여 분석한다면 더 큰 영향을 볼 수 있을 것이라고 판단된다. 본 연구자는 현재 가용한 대기오염 농도자료가 2013년으로 제한되어 2013년의 지역사회 건강조사 통계자료만 이용하였지만, 추후 다른 연도의 대기오염 농도자료가 구축되면 연도별 농도변화에 따른 건강영향을 분석할 수 있을 것이다. 또, 본 연구에서 대상자들의 대기오염 노출은 실외 대기오염노출에 근거한 자료이다. 노출에 많은 영향을 미치는 가정과 직장 내 환경에서의 노출을 반영하지 못했다는 제한점이 있

다. 매년 질병관리본부에서 주관하는 지역사회건강조사는 전국적으로 8월 말에 시작하여 10월 말에 종료하여 실질적으로 연중 두, 세 달 동안만 시행된다. 따라서, 253개 지역의 연평균 NO<sub>2</sub> 농도를 결합하여 분석하였지만, 연중 계절성을 고려하지 못하였다는 제한점이 있다.

국내의 대기오염에 의한 건강영향 연구 다수는 국내 자동 측정망에서 수집된 대기환경자료를 이용하였다. 국내 자동 측정망에서 수집된 대기물질 농도자료는 측정점의 밀도가 낮은 지역의 농도는 정확성이 낮고, 자료가 미비하다는 한계점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서 이용한 KAQFS 자료를 이용하여 지역사회 건강조사의 보건행정 지역단위로 대기오염 물질 농도를 산출하였고, 시·군·구 단위의 해상도로 대기오염 노출에 의한 스트레스 정도를 분석하여 기존의 연구에서의 한계점을 보완하였다. 그러나 본 연구에서 사용한 대기오염 노출값은 실제 측정자료가 아닌 CMAQ 모델값을 이용하였다는 제한점이 있다. 모델링 과정에서 입력값인 국내 배출량 자료는 2008년 국립환경과학원에서 제공하는 자료를 이용하였지만, 전국 226개 측정자료만을 사용하였고, 전국의 배출원으로부터 오염물질의 배출량을 반영하는 데 한계가 있다.

기존의 국내 연구들은 대기오염으로 인한 건강 관련 질병 발생과 이환 지표에 집중하여 보고되었지만, 본 연구에서는 질병 발생 수준 이전에 일상 생활에서 느끼는 정신적 감정상태에 대한 영향을 분석하였다는 데 의의가 있다. 본 연구는 가용할 수 있는 단년도 모델링 자료와 지역사회건강조사를 결합하여 대기오염 노출에 대한 주관적 스트레스 영향을 연구하였다. 추후 보건행정단위의 가용한 대기오염 노출자료를 확대하여 지역단위의 건강지표를 이용하여 연구한다면, 매년 보건행정 지역단위에서 대기오염 노출로 인한 개인 및 사회의 건강관련 주관적 삶의 질의 수준을 평가하여 보건 및 복지정책 수립 시 유용한 근거로 이용될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 30세 이상 65세 미만의 남성과 여성에서 NO<sub>2</sub> 농도와 주관적 스트레스 정도가 관련이 있었다. 2013년 환경부에서 공개한 16개 시도의 연평균 NO<sub>2</sub> 측정 결과, 가장 높았던 서울지역이 35 ppb, 가장 낮았던 제주지역은 8 ppb로 지역 간의 차이가 컸다. 이는 집단의 수준에서 사회 경제적 요인에 따라 질병 발생 및 이환에 영향을 미칠 수 있는 정신적 감정상태의 차이도 크다는 것을 시사한다. 우리는 매년 보건행정 지역단위로 산출되는 지역사회 건강조사 통계자료를 이용하여 지역 간 대기오염 농도에 따른 보건정책 수립 시, 과학적 근거에 기반을 둔 좋은 정책을 만들 수 있다고 생각한다.

## 감사의 글

This work was supported by the Korea Centers for Disease



Control and Prevention (KCDC).

## 참고문헌

1. Brook RD, Franklin B, Cascio W, Hong Y, Howard G, Lipsett M, et al. Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. *Circulation* 2004;109:2655-2671.
2. Lim YH, Kim H, Kim JH, Bae S, Park HY, Hong YC. Air pollution and symptoms of depression in elderly adults. *Environ Health Perspect* 2012;120:1023-1028.
3. Jung CR, Lin YT, Hwang BF. Air pollution and newly diagnostic autism spectrum disorders: a population-based cohort study in Taiwan. *PLoS One* 2013;8:e75510.
4. Ritz B, Lee PC, Hansen J, Lassen CF, Ketzel M, Sørensen M, et al. Traffic-related air pollution and Parkinson's disease in Denmark: a case-control study. *Environ Health Perspect* 2016;124:351-356.
5. Chang KH, Chang MY, Muo CH, Wu TN, Chen CY, Kao CH. Increased risk of dementia in patients exposed to nitrogen dioxide and carbon monoxide: a population-based retrospective cohort study. *PLoS One* 2014;9:e103078.
6. World Health Organization. Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease; 2016 [cited 2018 Apr 27]. Available from: <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250141/9789241511353-eng.pdf;jsessionid=301CDB468267E3388F9452C0E1554CFD?sequence=1>.
7. Oglesby L, Künzli N, Monn C, Schindler C, Ackermann-Liebrich U, Leuenberger P. Validity of annoyance scores for estimation of long term air pollution exposure in epidemiologic studies: the Swiss Study on Air Pollution and Lung Diseases in Adults (SAPALDIA). *Am J Epidemiol* 2000;152:75-83.
8. Kim YT, Choi BY, Lee KO, Kim H, Chun JH, Kim SY, et al. Overview of Korean Community Health Survey. *J Korean Med Assoc* 2012;55:74-83 (Korean).
9. Kwon GY, Lim DS, Park EJ, Jung JS, Kang KW, Kim YA, et al. Assessment of applicability of standardized rates for health state comparison among areas: 2008 Community Health Survey. *J Prev Med Public Health* 2010;43:174-184 (Korean).
10. Saarni SI, Härkänen T, Sintonen H, Suvisaari J, Koskinen S, Aromaa A, et al. The impact of 29 chronic conditions on health-related quality of life: a general population survey in Finland using 15D and EQ-5D. *Qual Life Res* 2006;15:1403-1414.
11. Dominici F, Peng RD, Barr CD, Bell ML. Protecting human health from air pollution: shifting from a single-pollutant to a multipollutant approach. *Epidemiology* 2010;21:187-194.
12. Yamazaki S, Sokejima S, Nitta H, Nakayama T, Fukuhara S. Living close to automobile traffic and quality of life in Japan: a population-based survey. *Int J Environ Health Res* 2005;15:1-9.
13. Weiland SK, Mundt KA, Rückmann A, Keil U. Self-reported wheezing and allergic rhinitis in children and traffic density on street of residence. *Ann Epidemiol* 1994;4:243-247.
14. Duhme H, Weiland SK, Keil U, Kraemer B, Schmid M, Stender M, et al. The association between self-reported symptoms of asthma and allergic rhinitis and self-reported traffic density on street of residence in adolescents. *Epidemiology* 1996;7:578-582.
15. Ciccone G, Forastiere F, Agabiti N, Biggeri A, Bisanti L, Chellini E, et al. Road traffic and adverse respiratory effects in children. SIDRIA Collaborative Group. *Occup Environ Med* 1998;55:771-778.
16. Rahman I, MacNee W. Oxidative stress and regulation of glutathione in lung inflammation. *Eur Respir J* 2000;16:534-554.
17. Kampa M, Castanas E. Human health effects of air pollution. *Environ Pollut* 2008;151:362-367.
18. Lau J, Hung WT, Cheung CS. Interpretation of air quality in relation to monitoring station's surroundings. *Atmos Environ* 2009;43:769-777.
19. Li W, Wilker EH, Dorans KS, Rice MB, Schwartz J, Coull BA, et al. Short-term exposure to air pollution and biomarkers of oxidative stress: the Framingham Heart Study. *J Am Heart Assoc* 2016;5:e002742.
20. Li H, Cai J, Chen R, Zhao Z, Ying Z, Wang L, et al. Particulate matter exposure and stress hormone levels: a randomized, double-blind, crossover trial of air purification. *Circulation* 2017;136:618-627.